BEDEUTUNG EINER VIELFÄLTIGEN UND KLEINTEILIGEN AGRARSTRUKTUR FÜR DIE BIODIVERSITÄT UND IHRE FÖRDERUNG IM RAHMEN DER GEMEINSAMEN EUROPÄISCHEN AGRARPOLITIK (GAP)

Studie von Prof. Dr. Teja Tscharntke
im Auftrag der Bundestagsfraktion Bündnis 90/Grünen

VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

Bedeutung einer vielfältigen und kleinteiligen Agrarstruktur für die Biodiversität und ihre Förderung im Rahmen der Gemeinsamen Europäischen Agrarpolitik (GAP)

Studie im Auftrag der Fraktion B90/Grüne im Deutschen Bundestag

Prof. Dr. Teja Tscharntke

Agrarökologie, Universität Göttingen

www.agroecology.uni-goettingen.de

email: ttschar@gwdg.de

März 2021

Zusammenfassung

Die Biodiversität nimmt trotz jahrzehntelanger nationaler und internationaler Anstrengungen weiterhin rapide ab, und die landwirtschaftliche Intensivierung ist dafür nach wie vor eine der wichtigsten Ursachen. In den letzten Jahrzehnten verringerte sich die Anzahl landwirtschaftlicher Betriebe drastisch und die landwirtschaftlich genutzten Felder und Betriebe wurden stetig größer. Es fand eine zunehmende Spezialisierung auf wenige Kulturarten statt und naturnahe Lebensräume wurden zerstört, was zur Homogenisierung ehemals vielfältiger Kulturlandschaften und damit zu dramatischen Biodiversitätsverlusten führte.

In dieser Studie werden Agrar-Umweltmaßnahmen auf der Ebene landwirtschaftlicher Betriebe und auf der Ebene der Agrarlandschaft vorgestellt, welche die Biodiversität unter konventioneller wie ökologischer Bewirtschaftung in großem Umfang fördern können. Zu diesen Maßnahmen gehören die deutliche Reduzierung der Feldgröße und der Anbau einer großen Kulturarten-Vielfalt in der Landwirtschaft, ergänzt um den Schutz eines Minimums naturnaher Lebensraumreste. Diese Maßnahmen zur Förderung einer vielfältigen und kleinteiligen Agrarstruktur in der gesamten Landschaft können den Artenreichtum vervielfachen, ohne dass es zu einer Verringerung der landwirtschaftlich genutzten Fläche oder zu Ertragseinbußen kommen muss. Der Öko-Landbau allein führt nur zu begrenzten Vorteilen für die Biodiversität, solange die Öko-Zertifizierung nicht mit einer vielfältigen und kleinteiligen Agrarstruktur verbunden wird.

Der Schlüssel zur Wiederherstellung der Biodiversität in großem Maßstab ist ein kleinräumiges Landnutzungsmosaik mit Feldern, deren Größe im Mittel deutlich unter sechs Hektar liegt, und durch eine Erhöhung der Kulturpflanzenvielfalt sowohl zeitlich (durch lange Fruchtfolgen) als auch räumlich (durch Mischkulturen, Streifenanbau etc.). Zudem sollte ein Ziel die Erhaltung oder Wiederherstellung von 20% naturnaher Lebensraumreste in allen Agrarlandschaften sein.

Das Interesse an wirtschaftlich effizienter Großteiligkeit in der Landwirtschaft ging in den letzten Jahrzehnten auf Kosten der biodiversitätsfreundlichen Kleinteiligkeit. Kleinteilige Agrarlandschaften

mit ihrer geringen Schlaggröße und kleinen landwirtschaftlichen Betrieben beherbergen einen deutlich erhöhten Artenreichtum. Das gilt auch für große Agrarbetriebe, soweit sie mit kleinen Feldern arbeiten. Deswegen sollten Landwirte mit kleinen Feldern eine deutlich höhere finanzielle Unterstützung pro ha erhalten als Landwirte mit großen Feldern. Anreize für eine vielfältige und kleinteilige Agrarstruktur wären im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) der EU zu verankern, am besten auch in der ersten Säule. Denn die Bewirtschaftung kleiner Felder kostet mehr Arbeitszeit und bedarf einer Umstellung in der Bewirtschaftungstechnik (auch mit digitalisiertem Präzisions-Ackerbau), beispielsweise für die Anlage langer und schmaler Felder, um das Vorgewende zu minimieren, den Maschineneinsatz zu erleichtern und die Biodiversitätsförderung durch lange Ränder zu optimieren. Auch die Anbau-Diversifizierung benötigt eine Entwicklung neuer Anbautechniken und Vermarktungswege, führt aber auch zu wirtschaftlicher Risikominderung und erhöhten biologischen Leistungen durch Bestäubung und Schädlingskontrolle. Bei Unterstützungszahlungen durch eine Gemeinwohlprämie ist zu berücksichtigen, dass der Wert kleiner Felder progressiv (nicht-linear) zunimmt – so führt eine Reduzierung der mittleren Feldgröße pro Landschaft von 6 ha auf 1ha zu einer 6-fach höheren Artenzahl. Kooperationen auf der Ebene der Kommunen, zum Beispiel durch Absprache mit allen Interessengruppen am Runden Tisch, sollten auch gefördert werden, da so Schritte für eine gemeinsame Strategie in Richtung einer kleinteiligen, multifunktionalen Landschaft erarbeitet werden können. Dazu gehört der Austausch von Informationen zu neuen Bewirtschaftungsansätzen, zur gemeinsamen Nutzung angepasster Maschinen und zum Aufbau geeigneter Vermarktungswege.

Anreizsysteme für eine vielfältige und kleinteilige Agrarlandschaft stellen eine bisher völlig unterschätzte, sehr effektive Möglichkeit zur Förderung der Artenvielfalt in Agrarlandschaften dar. Sie sind auch eine Maßnahme gegen den Strukturwandel auf Kosten kleiner Betriebe mit ihren kleinen Feldern und sollten mit einer Förderung der Kooperation diverser Interessensgruppen für eine Biodiversitäts-freundliche, kleinstrukturierte Agrarlandschaft verbunden sein.

Einleitung

Die biologische Vielfalt nimmt weiter ab, trotz vieler internationaler Schutzkonventionen wie der UN-Dekade der biologischen Vielfalt (2011-2020) und zahlreicher Programme zur Erhaltung der biologischen Vielfalt in der Europäischen Union, die wenig erfolgreich waren (Kleijn et al., 2011) (Pe'er et al., 2014) (IPBS (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services), 2019). Die Landwirtschaft gilt als Hauptursache für den globalen Biodiversitätsrückgang (Sala et al., 2000) (Sánchez-Bayo and Wyckhuys, 2019). So hat sich beispielsweise die Zahl der europäischen Feldvögel in den letzten drei Jahrzehnten mehr als halbiert (Whittingham, 2011) und zwei Drittel aller Ackerwildkrautarten pro Feld sind durch die Intensivierung der Landwirtschaft in Mitteleuropa in den letzten Jahrzehnten verschwunden (Meyer et al., 2013). In den letzten Jahrzehnten verschwanden zudem dramatisch viele Populationen und Arten von Insekten. Insekten stellen mit über 33.000 Arten rund 69 % aller Tierarten in Deutschland und sind integraler und oft dominanter Bestandteil unserer Ökosysteme. Dennoch stehen in Deutschland fast die Hälfte aller Insektenarten auf der Roten Liste, von denen die Hälfte seit 1998 weitere starke Bestandsabnahmen erfahren haben (BfN (Bundesamt für Naturschutz), 2015). Dies bedeutet auch einen starken Rückgang von Ökosystemdienstleistungen, einschließlich der Bestäubung von Nutzpflanzen, der biologischen Schädlingskontrolle (Martin et al., 2019) und den kulturellen Ökosystemdienstleistungen, zu denen die Erholung in biodiversitätsreichen Landschaften zählt (Bratman et al., 2019).

Das derzeitige Modell der landwirtschaftlichen Intensivierung, das auf agrochemischen Einträgen, die Spezialisierung auf wenige Kulturarten und auf große Monokulturen ausgerichtet ist und damit eine Homogenisierung der Landschaft verursacht, war erfolgreich bei der Steigerung von Erträgen und der Sicherung der Versorgung mit Nahrung, ging aber mit großen Verlusten an Biodiversität und Ökosystemleistungen einher (Tscharntke et al., 2012a) (Grass et al., 2021). Dieser Trend kann nur durch eine konzertierte Anstrengung zur grundlegenden Umgestaltung von Agrarsystemen und Agrarlandschaften umgekehrt werden (Grass et al., 2019) (Grass et al., 2021) (Haan et al., 2021).

Im Folgenden werden die drei wichtigsten Möglichkeiten, wieder zu einer artenreichen Kulturlandschaft zu kommen, besprochen (Abb. 1).

(1) Traditionell zählt dazu die **Erhöhung des Anteils naturnaher Lebensräume** und von Schutzgebieten. (Tscharntke et al., 2005) (Garibaldi et al., 2021).

(2) & (3) Eine Steigerung des Artenreichtums in Kulturlandschaften kann aber auch durch kleine Felder und eine Diversifizierung der angebauten Kulturpflanzen geschaffen werden. Überraschenderweise werden solche Maßnahmen zur **Erhöhung der Landschaftsvielfalt durch Anbau von mehr Kulturpflanzenarten und durch die deutliche Reduzierung der Schlaggröße** in der heutigen Landwirtschaft kaum angewandt, obwohl sie die Biodiversität auf ein viel höheres Niveau heben können als der Öko-Landbau und auch in der konventionellen Landwirtschaft umsetzbar wären (Kleijn et al., 2019) (Batáry et al., 2017) (Sirami et al., 2019).

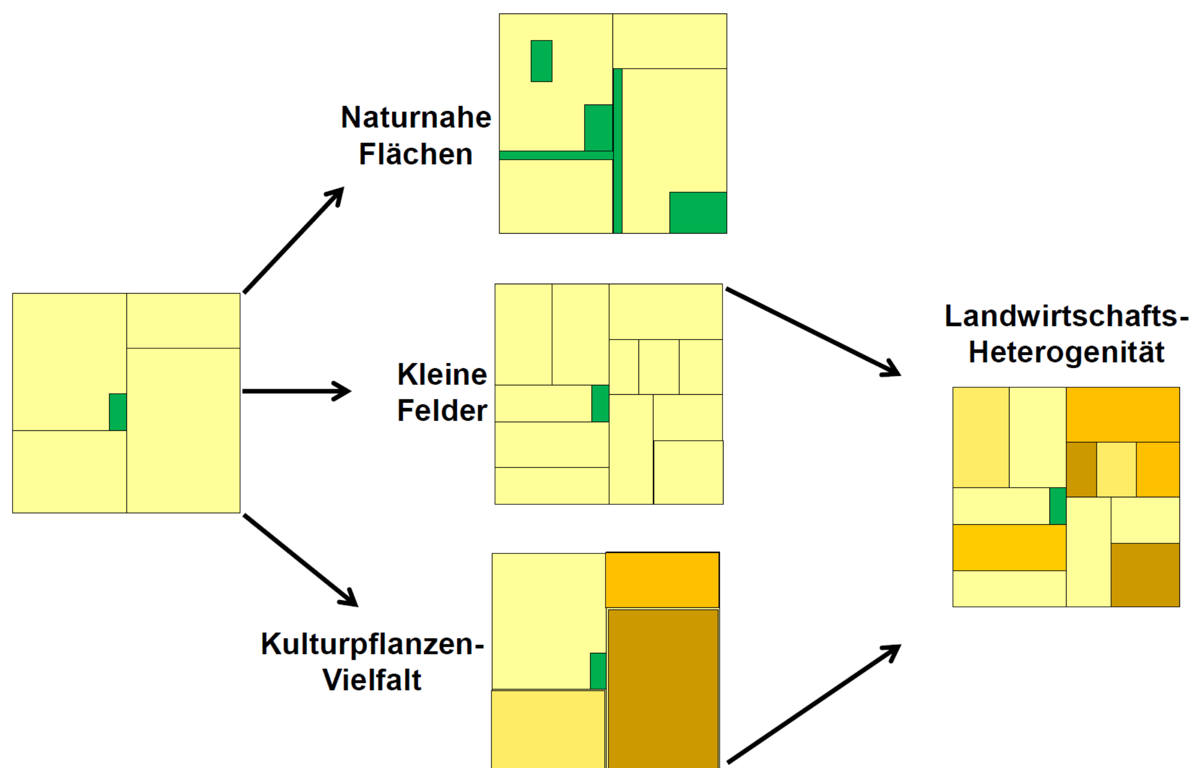


Abbildung 1: Konzeptionelle Darstellung der Möglichkeiten, die Artenvielfalt in Agrarlandschaften zu erhöhen: Die Vergrößerung des Anteils naturnaher Flächen oder kleiner Felder oder einer

höheren Kulturpflanzenvielfalt. Eine Kombination von kleinen Feldern und Kulturartenvielfalt führt zu artenreichen Landschaften allein durch eine Steigerung der Landschafts-Heterogenität im Rahmen der landwirtschaftlich genutzten Flächen, was ohne Ertragsverluste einhergehen kann.

Das Grün steht für naturnahe Flächen und verschiedene Brauntöne stehen für verschiedene Kulturarten (Hass et al., 2018) (Hass et al., 2019) (Sirami et al., 2019).

Vielfältige und kleinteilige Agrarlandschaften für die biologische Vielfalt

Die Landschaftsstruktur bestimmt den Pool verfügbarer Arten für die lokale Vielfalt

Die derzeitige Agrar-Umweltpolitik ist auf die Ebene von Betrieben, oft sogar nur auf einzelne Schläge ausgerichtet, was ihren Beitrag zur Erhaltung der Biodiversität stark einschränkt. Denn die Struktur der Landschaft wird nicht einbezogen, ist aber ein Schlüsselfaktor für die Erhaltung der Biodiversität (Tscharntke et al., 2012b). Die lokale Biodiversität auf dem Hof oder dem Betrieb wird durch den verfügbaren Pool an Populationen und Arten in den umgebenden Landschaften bestimmt. In strukturarmen Landschaften ist die Biodiversität stark reduziert, so dass nur wenige Arten lokal zu erwarten sind - unabhängig von der Art der lokalen Bewirtschaftung. Deswegen besteht die Notwendigkeit, eine Landschaftsperspektive in die Agrarumweltprogramme zu integrieren, die erhebliche Anreize für kleine Schläge setzen, verbunden mit großem Artenreichtum, kleinen Betrieben und der Förderung eines kooperativen Landschaftsmanagements. Beispielsweise wurde in einer aktuellen Langzeitstudie in drei Regionen Deutschlands gezeigt, dass die dramatischen Rückgänge des Insektenartenreichtums entlang eines Gradienten der Grünlandintensivierung (Rückgang von 67 % der Biomasse und 34 % der Arten innerhalb von zehn Jahren, 2008-2017) vor allem in vereinfachten, von einjährigen Kulturen dominierten Landschaften auftraten (Seibold et al., 2019).

Es gibt drei Möglichkeiten zur Wiederherstellung eines großen Artenpools in monotonen, einfach strukturierten Agrarlandschaften, die durch landwirtschaftliche Intensivierung geprägt sind (Abb. 1). (1) Traditionell wird der Fokus auf die Wiederherstellung naturnaher Lebensräume gelegt. (2) Die Vergrößerung der Landschaftsheterogenität und damit ein Anstieg der Artenzahlen kann aber auch durch eine größere Kulturpflanzen-Vielfalt erfolgen, d.h. durch ein räumlich enges Nebeneinander verschiedener Kulturarten. (3) Ein dritter Ansatz zielt auf die Verkleinerung der Felder bzw. Schläge (größere Heterogenität durch die Veränderung der Landschafts-Konfiguration). Besonders interessant ist an der Idee, eine Agrarlandschaft mit kleinen und diversifizierten Feldern zu fördern, dass damit keine Verluste in der Produktivität pro Hektar einhergehen und auch keine potentielle Produktionsfläche (wie in der klassischen Naturschutz-Strategie) verloren geht.

Die Vergrößerung des Anteils an naturnahen Lebensräumen in Agrarlandschaften, d.h. die Erhöhung der Landschafts-Komplexität, vergrößert den Artenpool und fördert den Biotopverbund zwischen den Ressourcen und Populationen von Landnutzungssystemen und naturnahen Lebensräumen (Kleijn et al., 2011) (Tscharntke et al., 2012b) (Gonthier et al., 2014) (Gámez-Virués et al., 2015). Beispielsweise kann sich die Anzahl der Wildbienenarten in einem Ackerrandstreifen verdoppeln, wenn die Landschaft komplexer wird (Steffan-Dewenter et al., 2002). Ebenso werden natürliche Gegenspieler von Schädlingen gefördert, die beispielsweise Getreideblattläuse und Rapsglanzkäfer stark dezimieren können (Rusch et al., 2016) (Bianchi et al., 2006) (Tschumi et al., 2015) (Tschumi et al., 2016) (Thies and Tscharntke, 1999). Sind Landschaften dagegen dominiert von großen Ackerflächen und fehlen naturnahe Landschaftselemente weitgehend, dann geht die Artenzahl drastisch zurück – auch in Schutzgebieten. So können 29 % des lokalen Artenreichtums in geschützten Kalkmagerrasen verloren gehen, wenn der Anteil an Ackerland in der umgebenden Landschaft von 10 % auf 80 % steigt (Kormann et al., 2015).

Es gibt Hinweise darauf, dass ein Schwellenwert von mindestens 20 % naturnaher Lebensräume in Agrarlandschaften zur Erhaltung der Biodiversität notwendig ist (Tscharntke et al., 2002a) (Garibaldi et al., 2021). Darunter steigt die Isolation der Restlebensräume sprunghaft an und fördert weiteres

lokales Aussterben (Andrén, 1994). In Landschaften mit weniger als 20 % naturnahem Lebensraum sinkt die Parasitierung von Rapsglanzkäfern und von Getreideblattläusen auf einen Wert, bei dem keine biologische Kontrolle mehr zu erwarten ist (Thies et al., 2005) (Thies and Tscharntke, 1999). Allerdings kann eine Biodiversitäts-freundliche Bewirtschaftung (kleine Felder, viele Kulturarten) den Verlust naturnaher Landschaftselemente zumindest teilweise kompensieren (Sirami et al., 2019) (Clough et al., 2020). Entgegen der landläufigen Meinung, dass Naturschutzmaßnahmen auf die artenreichsten Landschaften ausgerichtet sein müssen, ist deren Wirksamkeit am größten, wenn die lokale ökologische Verbesserung in starkem Kontrast zur Umgebung steht, z. B. in einer intensiv bewirtschafteten, monotonen Landschaft (Tscharntke et al., 2005) (Tscharntke et al., 2012b) (Kleijn et al., 2011) (Marja et al., 2019).

Die Wiederherstellung der Landschaftskomplexität ist auch auf räumlichen Skalen jenseits der Landschaftsebene erforderlich, da sich die Umweltbedingungen und die damit verbundene Zusammensetzung der Gemeinschaften mit zunehmender Entfernung zwischen den Standorten und Landschaften ändern. Daher fördern eine Streuung von Maßnahmen über ganze Landschaften und Regionen hinweg die Gesamtheit der Biodiversität erheblich (Tscharntke et al., 2012b). Die lokale (Alpha-) Diversität kann einen falschen Eindruck vermitteln, ob Maßnahmen besonders effektiv sind, da die großräumige (Beta-) Diversität den größten Teil des Artenreichtums in einer Landschaft und Region ausmacht (Clough et al., 2007) (Flohre et al., 2011) (Rösch et al., 2015) (Tylianakis et al., 2005).

Kleine Felder und große Kulturpflanzenvielfalt für die biologische Vielfalt

Eine Vergrößerung des Anteils an naturnahen Lebensräumen vermindert den Verlust an Biodiversität, aber die Intensivierung der Landnutzung und steigende Bodenpreise machen naturnahe Flächen zu einem teuren Gut, das nur schwer zu erhalten, geschweige denn zu vergrößern ist. Deshalb ist die Idee besonders attraktiv, die landschaftsweite Heterogenität durch das

Anbaumosaiks selbst zu erhöhen, d.h. durch die Ackerflächenheterogenität. Es zeigte sich, dass tatsächlich so ein Anbaumosaik ebenfalls große positive Auswirkungen auf die Biodiversität haben kann, ohne die Verfügbarkeit von Agrarflächen zu beeinträchtigen (Fahrig et al., 2010) (Clough et al., 2020) (Tab. 1, Abb. 2).

Eine kürzlich durchgeführte Studie in 435 Landschaften von acht Regionen in Europa und Nordamerika zeigte, dass eine Erhöhung der Landschaftsheterogenität durch kleine Ackerflächen für die Artenvielfalt von Pflanzen, Vögeln, Bienen, Schmetterlingen, Laufkäfern, Spinnen und Schwebfliegen ebenso vorteilhaft sein kann wie eine Erhöhung des Anteils naturnaher Lebensräume (Sirami et al., 2019) (Tabelle 1). Die Effekte waren am stärksten, wenn die mittlere Feldgröße pro Landschaft unter 6 ha sank (Sirami et al., 2019) (Clough et al., 2020) (Alignier et al., 2020) (Abb. 2 D). Eine Verringerung der Ackerfläche von 5 auf 2,8 ha (oder 6 auf 1 ha) förderte ebenso viele Arten wie eine Erhöhung der naturnahen Deckung von 0,5 auf 11 % (oder 0 % auf 35 %). Landschaften mit 1ha-Feldern weisen sechs Mal so viele Arten auf wie Landschaften mit 6ha-Feldern. Dies ist nicht nur auf die Zunahme der Feldrandstreifen entlang der Ackerflächen zurückzuführen, da es einen positiven Effekt der Ränder auch ohne die Streifen mit naturnaher Vegetation gibt (Hass et al., 2018). Darüber hinaus können Schädlingsdichten in Landschaften mit geringerer Feldgröße (d. h. mit mehr Feldrändern) und auch in Landschaften mit höherer Kulturpflanzenvielfalt geringer sein, wie für Getreideblattläuse festgestellt wurde (Baillod et al., 2017).

In einer anderen großen Untersuchung wurden ebenfalls große Biodiversitätsvorteile einer kleinskaligen gegenüber einer großskaligen Landwirtschaft gefunden, die gleichauf oder sogar höher sind als der Biodiversitätsvorteil durch die Umstellung von konventioneller auf ökologische Landwirtschaft (Batáry et al., 2017), (Abb. 2 A, B). Allerdings war der Profit des Landwirts pro Weizenfläche auf 20ha-Feldern um 50 % höher als auf 3ha-Feldern, was auf die geringeren Kosten für die Bewirtschaftung großer Felder zurückzuführen ist. Unabhängig von der Feldgröße erhöhte die Umstellung von konventionellem auf ökologischen Landbau die Artenvielfalt, halbierte aber auch die Getreideerträge (Batáry et al., 2017).

Eine Erhöhung der Heterogenität durch kleine Ackerflächen bzw. eine Erhöhung der Randlänge in der Landschaft fördert die Wildbestäuber und die Pflanzenreproduktion, basierend auf Untersuchungen in 229 Landschaften von vier großen westeuropäischen Agrarregionen (Hass et al., 2018). Dies kann bis zu einer fünffachen Anzahl von Wildbienenzahl in der Agrarlandschaft führen (Abb. 2 C).

Die Erhöhung der Anzahl der Kulturarten (größere Heterogenität in der Landschafts-Zusammensetzung) hatte ebenfalls einen positiven Effekt auf die Biodiversität auf Landschaftsebene, allerdings nur in Landschaften mit >11% naturnaher Vegetation (Sirami et al., 2019). Zudem wurde eine viel bessere biologische Kontrolle von Getreideblattläusen in Landschaften mit erhöhter Kulturpflanzenvielfalt gefunden (Redlich et al., 2018). Zudem reduziert ein großer Maisanteil, ein aktueller Trend in europäischen Landschaften, den Wert der Landschaften für Bestäuber erheblich, wie für Hummeln gezeigt wurde (Hass et al., 2018).

In einer Synthese von Daten aus 49 Studien und 1515 Landschaften in ganz Europa untersuchten Martin et al. die Auswirkungen der Landschaftszusammensetzung (% naturnahe Lebensräume) und Landschaftskonfiguration (Randdichte) auf Arthropoden (Insekten und Spinnen) in Feldern und deren Rändern sowie auf Schädlingsbekämpfung und Bestäubung (Martin et al., 2019). In Landschaften mit hoher Randdichte erreichten 70 % der Bestäuberarten und 44 % der natürlichen Gegenspielerarten die größte Häufigkeit; Bestäubung und Schädlingsbekämpfung verbesserten sich um das 1,7-fache bzw. 1,4-fache und die Erträge waren sehr hoch, was die große Bedeutung kleiner Felder zeigt.

Die Ergebnisse zeigen, dass der aktuelle Trend zu landwirtschaftlicher Intensivierung mit großen Monokulturen zu stoppen und eine vielfältige und kleinteilige Agrarstruktur wiederherzustellen ist, da sie eine große und unterschätzte Bedeutung für die Biodiversität hat. Der Erhalt natürlicher Lebensräume in Agrarlandschaften ist nicht die einzige Lösung, um die Landschaftsheterogenität und die damit verbundenen Biodiversität zu erhöhen. Landschaftsweite Veränderungen in der landwirtschaftlichen Diversifizierung können teilweise den Verlust an natürlichem Lebensraum ausgleichen, hauptsächlich durch kleinere Felder, aber partiell auch durch die Erhöhung der Anzahl

der Kulturpflanzenarten. Die Bedeutung der Kulturarten-Vielfalt könnte viel deutlicher ausfallen, wenn unsere, meist intensivierten Landschaften nicht durch einen solchen Mangel an Kulturpflanzenarten-Vielfalt geprägt wären.

Tabelle 1: Daten zum Gewinn an Artenvielfalt durch eine vielfältige und kleinstrukturierte Agrarlandschaft. Unterschieden wird eine Diversifizierung durch kleine Felder mit entsprechend langen Feldrändern von der Diversifizierung durch eine Erhöhung der Kulturarten-Vielfalt

Feldgröße	Die Abnahme der mittleren Feldgröße von 6 ha auf 1 ha pro Landschaft führt zu 6-fach höherer Artenvielfalt (7 Artengruppen, 435 Landschaften, 8 Regionen), was einem Anstieg naturnaher Flächen von 0% auf 35% entspricht. Die Reduktion der Feldgröße von 5 ha auf 2.8 ha ist genauso wirksam wie der Anstieg naturnaher Flächen von 0.5% auf 11%	Synthese über 8 Regionen (EU, Kanada)(Sirami et al., 2019) (Clough et al., 2020)
Feldrandlänge	Ein Anstieg der Feldrandlänge (m per ha) von 100m auf 600m führt zu einer 5-fachen Erhöhung der Wildbienenzahl.	Synthese über 4 EU Länder (Hass et al., 2018)
Feldumfang	In großteiligen Landschaften bedeutet ein Anstieg des Feldumfangs auf 6 km einen Anstieg der Artenzahlen von 50 auf 100 im konventionellen Anbau, im ökologischen Anbau von 60 auf 130. In kleinteiligen Landschaften gibt es dagegen bis zu 150 Arten im konventionellen und 210 Arten im ökologischen Anbau, d.h. es gab mehr Arten in der kleinteiligen konventionellen Landwirtschaft als in der großteiligen Öko-Landwirtschaft.	Umfangreiche Fallstudie, 2 Regionen, 4 Artengruppen (Batáry et al., 2017)
Kulturarten-Vielfalt	Ein Anstieg der Anzahl Kulturarten per Landschaft kann den Artenreichtum verdoppeln, sobald der Anteil naturnaher Flächen über 11% liegt	Synthese über 8 Regionen (EU, Kanada) (Sirami et al., 2019)
Kulturarten-Vielfalt	Eine Verdopplung der Kulturarten-Vielfalt resultiert in 6-fach höherem Artenreichtum bei den Bestäubern (nicht aber den Spinnen oder Laufkäfern), falls die Landschaft 30% naturnahe Fläche aufweist, und zu 4-fach höherem Artenreichtum bei 10% naturnaher Fläche	synthesis of 7 studies (Aguilera et al., 2020)
Kulturarten-Vielfalt	Kulturarten-Vielfalt, aber nicht naturnaher Lebensraum, fördert die biologische Bekämpfung von Blattläusen, die in Landschaften mit großer Kulturarten-Vielfalt 8%–33% höher war als in Landschaften mit geringer Kulturarten-Vielfalt	Fallstudie (Redlich et al., 2018)
Kulturarten-Vielfalt	Höhere Kulturarten-Vielfalt in der Landschaft verdreifachte die Hummelanzahl und erhöhte den Bestäubungserfolg bei Ackerbohnen	Fallstudie (Raderschall et al., 2021)
Kulturarten-Vielfalt	Ein Anstieg der Landschafts-Homogenisierung durch Erhöhung des Mais-Anteils auf 40% reduziert die von	Fallstudie

	Hummeln gesammelte Pollen-Vielfalt und reduziert das Koloniegewichts auf ein Drittel	(Hass et al., 2019)

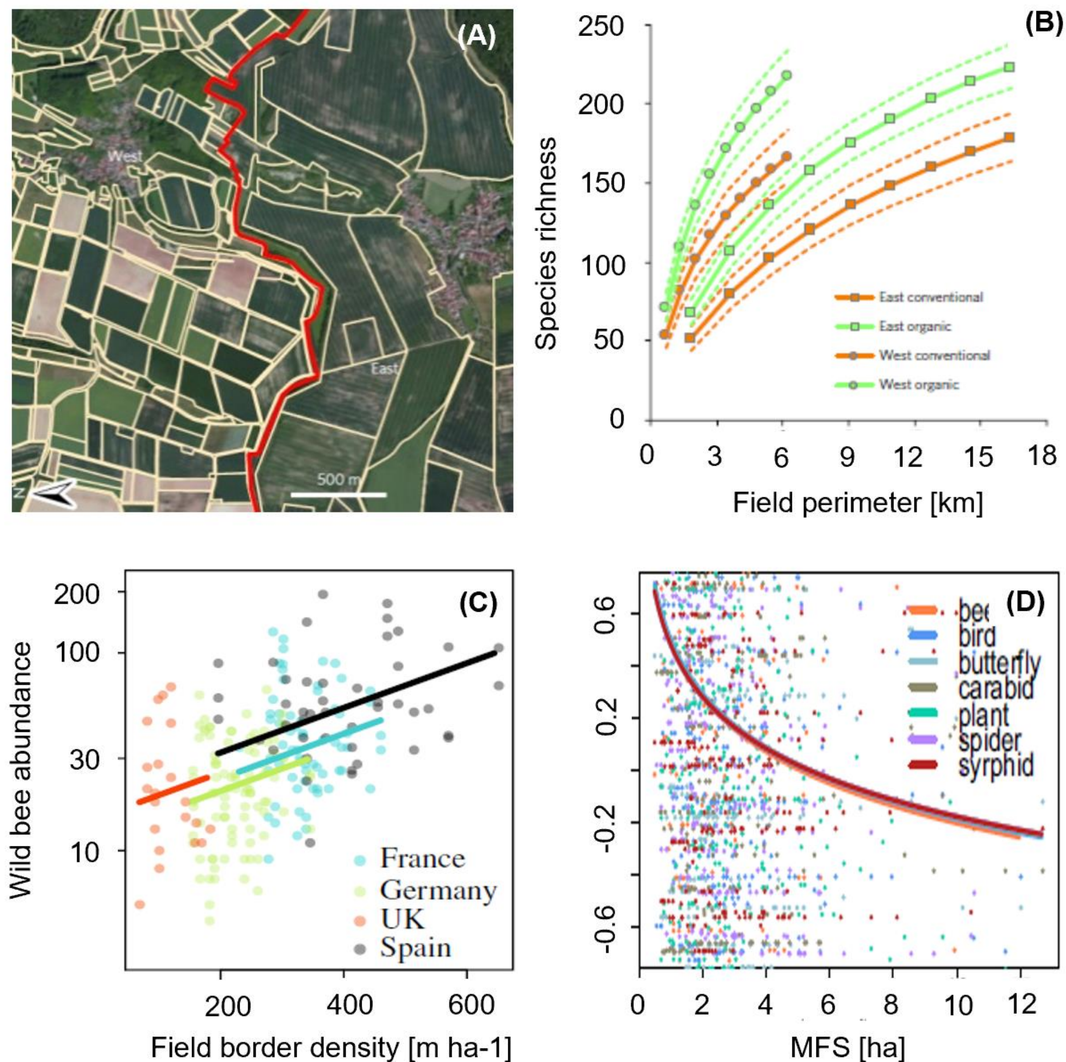


Abbildung 2: Die Folgen der mittleren Feldgröße und mittleren Feldrandlänge pro Landschaft auf die Artenvielfalt.

(A) Die Landkarte illustriert den großen Unterschied in der Feldgröße zwischen Thüringen und Niedersachsen entlang der ehemaligen innerdeutschen Grenze (die rote Linie). Ostdeutsche Felder waren ~ 20 ha, westdeutsche ~ 3 ha (Batáry et al., 2017).

(B) Die Auswirkungen der Region (kleinteilig im Westen, großteilig im Osten; Abb. 2 A) und von ökologischer vs. konventioneller Bewirtschaftung auf den akkumulierten Artenreichtum (Pflanzen,

Laufkäfer, Spinnen, Kurzflügelkäfer). Proben-basierte rarefaction Kurven, standardisiert für die akkumulierte Randfläche (den Umfang) pro Feld (n = 36 Felder; gestrichelte Linien repräsentieren die 95% Vertrauensbereiche (Batáry et al., 2017).

(C) Folgen der Feldrandlänge (Konfigurations-Heterogenität) auf die Häufigkeit von Wildbienen auf Ackerflächen von vier EU Ländern. Die Häufigkeit ist entlang einer log10 Skala gezeigt (Hass et al., 2018).

(D) Die Auswirkungen kleiner Feldgröße pro Landschaft (MFS, Mean Field Size) auf den Artenreichtum von sieben taxonomischen Gruppen (standardisierter Gesamt-Index). Daten von acht Regionen in Europa und Kanada mit insgesamt 435 Feldern (Sirami et al., 2019).

Diversifizierung des Anbaus auf der Ebene der einzelnen Betriebe

Diversifizierte Landnutzung

Die Erhöhung der Heterogenität der Landnutzung ist eine wichtige Maßnahme zur Förderung der lokalen Artenvielfalt (Benton et al., 2003). Landwirtschaftliche Flächen, insbesondere in Europa und Nordamerika, sind zunehmend durch große Monokulturen und ein Minimum an Fruchtfolgen geprägt, um die Produktionstechniken zu vereinfachen und sich auf die umsatzstärksten Produkte zu spezialisieren. Fruchtfolgen werden oft von nur einer Kultur dominiert, darunter Weizen nach Weizen oder Mais nach Mais, bis hin zu drei Kulturarten in den üblichen konventionellen Fruchtfolgen (z. B. Weizen, Gerste und Raps (Steinmann and Dobers, 2013) (Bennett et al., 2012). Diese vereinfachten Fruchtfolgemuster erhöhen das Risiko von Engpässen bei der Nahrungsversorgung über die gesamte Saison hinweg, z. B. für Bestäuber und natürliche Gegenspieler von Schädlingen (Schellhorn et al., 2015), erhöhen aber auch das Risiko von Ertragsrückgängen (Bennett et al., 2012). Eine Kontinuität bei den Nahrungsressourcen, die durch ein gemischtes Anbaumuster allein oder in Kombination mit z. B. Wildblumenstreifen, bereitgestellt wird, erhöht die Stabilität von Ökosystemdienstleistungen wie Bestäubung und biologische

Schädlingsbekämpfung (Schellhorn et al., 2015). Zum Beispiel profitieren Hummeln in der frühen Phase der Kolonie-Entwicklung von früh-blühenden Massenkulturen wie Raps, benötigen aber später in der Saison zusätzliche Nahrungsressourcen wie Rotklee oder Ackerbohnen (Beyer et al., 2020) (Rundlöf et al., 2014) (Westphal et al., 2009). Weltweit sind die Fruchtfolgen im ökologischen Landbau nur 15 % länger als in der konventionellen Landnutzung (4,5 statt 3,8 Jahre) (Barbieri et al., 2017), aber mit einem insgesamt 48 % höheren Pflanzenartenreichtum. Die Diversifizierung des ökologischen Landbaus durch Mischkulturen und längere Fruchtfolgen kann die Ertragslücke auf 8-9 % reduzieren (Ponisio et al., 2015). Fruchtfolgen könnten generell auch lang sein, z. B. über einen Zeitraum von sieben Jahren (Mäder et al., 2002), und es gibt keine prinzipielle Grenze für die Anbaudiversifizierung, aber eine geringe Akzeptanz sowohl im ökologischen als auch im konventionellen Landbau (Seufert et al., 2019).

Die Diversifizierung von Kulturen und Anbaupraktiken erhöht die Biodiversität und die damit verbundenen Ökosystemleistungen wie Bestäubung, biologische Schädlings- und Unkrautbekämpfung (Kremen and Miles, 2012) (Lichtenberg et al., 2017) (Tamburini et al., 2020) erheblich. Zu den Maßnahmen gehören diversifizierte Fruchtfolgen, d. h. zeitliche und räumliche Diversifizierung, z. B. Mischkulturen mit mehreren Sorten oder Pflanzenarten pro Feld, Zwischenfrüchte oder Untersaaten wie auch die Agroforstwirtschaft, die Bäume mit Nutzpflanzen auf derselben Fläche kombiniert. Bekannte Maßnahmenkombinationen sind die konservierende Landwirtschaft (reduzierte Bodenbearbeitung, Deckfrüchte oder Mulchen, diversifizierte Fruchtfolgen oder Mischungen) und diversifizierte Mischbetriebe mit Ackerbau und-Viehhaltung (Rosa-Schleich et al., 2019) (Grass et al., 2019). Diversifizierte Anbausysteme (d. h. Polykulturen) unterstützen eine 44 % höhere Abundanz natürlicher Feinde und eine 54 % höhere Schädlings-Mortalität als in Pflanzenmonokulturen (Lichtenberg et al., 2017). In ähnlicher Weise ist die Schädlingskontrolle in Polykulturen höher als in Monokulturen (36 % Zunahme) (Iverson et al., 2014). Im Allgemeinen fördert der ökologische Landbau das gesamte biologische Schädlingsbekämpfungspotenzial, muss aber auch mit einem höheren Schädlingsbefall umgehen als

der konventionelle Landbau (Muneret et al., 2018), insbesondere wenn er als Monokultur betrieben wird.

Erhalt und Vermehrung naturnaher Flächen auf dem Hof

Der Ökologische Landbau fördert die Biodiversität, aber nur ein begrenztes Artenspektrum (Kleijn et al., 2015) (Hole et al., 2005). Insbesondere häufige Insektenarten, die mit der Landwirtschaft assoziiert sind, aber nicht die weniger häufigen Arten, die mit einer großen Vielfalt an naturnahen Lebensräumen assoziiert sind, wie z. B. Hecken, krautige Feldränder und traditionelle Agrarökosysteme, wie z. B. kalkhaltiges Grasland oder Obstbaumwiesen. Der Erhalt oder die Wiederherstellung von naturnahen Lebensräumen auf dem Betrieb, wie z. B. Feldrandstreifen, Hecken, trockenes oder feuchtes Grasland, Gebüsch, Brachflächen oder kleine Gewässer, würde die biologische Vielfalt auf dem Betrieb erheblich verbessern, ist aber in keinem Bio-Zertifizierungssystem als obligatorisch anerkannt. Zum Beispiel stieg die Schmetterlingsvielfalt auf schwedischen Bauernhöfen mit der Vielfalt der landwirtschaftlichen Lebensräume um etwa 50 %, jedoch nicht durch die Umstellung auf ökologischen Landbau (Weibull et al., 2000). Die Vielfalt der Ackerlandvögel wird um 50% erhöht durch die Umstellung von konventionellen auf ökologischen Landbau, aber die Zunahme der Heckenlänge auf bis zu 250m erhöht die Vogelvielfalt von 1 auf 12 Arten (Batary et al., 2010). Darüber hinaus ergab eine Meta-Analyse von Agrarumweltprogrammen, dass Maßnahmen außerhalb des Feldes, wie Feldränder und Hecken, mehr als doppelt so effektiv bei der Förderung der Biodiversität sind wie Maßnahmen innerhalb des Feldes, namentlich die ökologische Bewirtschaftung (Batáry et al., 2015). Labels für den ökologischen Landbau (Demeter, Bioland, EU-Label etc.) unterscheiden sich in ihren Anforderungen, gehen aber nicht explizit auf verpflichtende Maßnahmen zur Biodiversitätserhöhung durch naturnahe Landschaftselemente, Anbau-Vielfalt und kleine Felder ein (FIBL et al., 2020). Solche Diversifizierungsmaßnahmen auf Betriebsebene sind aber sehr wichtig, um die Biodiversität zu erhalten und zu verbessern, was durch

die Umstellung von konventioneller auf ökologische Landwirtschaft allein nicht erfolgt. Insbesondere der Erhalt natürlicher Lebensraumflächen ist nicht Teil der Bio-Zertifizierung, sollte es aber werden (Tscharntke et al., 2015).

Kosten einer vielfältigen und kleinteiligen Agrarstruktur und Gemeinwohlprämie im Rahmen der GAP

Die Intensivierung und Spezialisierung in der Landwirtschaft seit dem Ende des zweiten Weltkriegs ging einher mit einer Spezialisierung auf wenige, profitable Kulturarten, die auf großen Feldern angebaut werden, allerdings bei einer großen regionalen Variabilität (Clough et al., 2020). Die Flurbereinigung beschleunigte diese Entwicklung, ebenso die zunehmende Verfügbarkeit großer Maschinen für die rationelle Bewirtschaftung. Entsprechend verursachen kleine Felder größere Kosten bei der Bewirtschaftung durch höhere Arbeitszeiten etc., was ihren Wert für den Landwirt deutlich verringert. Ein 1 ha Feld kann 30-90% höhere Arbeitszeit erfordern (Nilsson et al., 2015). Zudem wird bei kleinen Feldern der Anteil der Fläche größer, der als Vorgewende genutzt und dadurch heterogener bewirtschaftet wird und eventuell wegen des verdichteten Bodens und Pflanzenschäden an Wert verliert. Die Größe von Schlägen ist positiv korreliert mit der Größe der Betriebe (Clough et al., 2020) (Batáry et al., 2017), was auch an der historischen Abnahme der Anzahl landwirtschaftlicher Betriebe in Deutschland (damalige BRD) abzulesen ist, von 1.5 Millionen Höfen im Jahr 1960 auf 267 tausend Höfe im Jahr 2019 (Junge, 2021). Im gleichen Zeitraum ging die Anzahl Erwerbstätiger in der Landwirtschaft um das rund 7-fache zurück.

Deswegen muss bei Anreizsystemen und Unterstützungszahlungen im Rahmen der GAP die besondere Situation kleiner Betriebe mit ihren kleinen Feldern berücksichtigt werden. Wenn Subventionen an die Flächengröße gekoppelt sind, werden kleinteilige Bauernhöfe mit ihrem großen Wert für die Biodiversität benachteiligt. Der Trend zur wirtschaftlich effizienter Großteiligkeit ist auf Kosten biodiversitätsfreundlicher Kleinteiligkeit gegangen. Landwirte mit kleinen Feldern,

typischerweise verbunden mit kleinen Höfen, sollten deutlich höhere Unterstützungszahlungen pro ha erhalten als Landwirte mit großen Feldern. Bauernhöfe mit kleinen Feldern profitieren kaum von den Direktzahlungen – rund drei Viertel aller landwirtschaftlichen Betriebe in der EU erhalten gerade einmal 16% der Zahlungen, insbesondere weil die Direktzahlungen an die Größe der bewirtschafteten Fläche gebunden ist (Zinke, 2020). Das Anbinden der Subventionen an die Flächengröße führte auch zu einem starken Anstieg der Preise für Ackerland – zwischen 2009 und 2019 hat sich der Kaufpreis in vielen Regionen verdoppelt (Junge, 2021), und damit auch der Preis für Biodiversitäts-fördernde Maßnahmen.

Ganz im Gegenteil wäre es sinnvoll, kleinteilige Agrarlandschaften zu fördern, indem die Entwicklung und Anschaffung von Maschinen, die für eine kleinteilige Bewirtschaftung geeignet sind, unterstützt wird. Ebenso wäre die Entwicklung verbesserter Techniken zur Bewirtschaftung kleiner Felder zu fördern, auch mit Unterstützung digitalisiertem Präzisions-Ackerbau (Precision-Farming). Dazu gehört auch die Umwandlung in lange, schmale Felder, bei denen das Vorgewende minimiert, der Maschineneinsatz erleichtert und die Biodiversitätsförderung durch lange Ränder optimiert wird (Clough et al., 2020). Die Umstellung des Maschinenparks für eine kleinteilige Bewirtschaftung und die deutlich erhöhten Kosten für die Bewirtschaftung von Flächen <2 ha scheinen von besonderer Bedeutung zu sein (Jahns et al., 2013). Die Kosten sollten schon bei <5 ha erheblich ansteigen, aber es gibt die Möglichkeit, die Schläge in der Form langer Rechtecke zu führen, um die Kosten zu verringern (Engelhardt, 2004).

Auf der anderen Seite erlauben kleine Felder eine bessere Anpassung an die lokale Heterogenität, zum Beispiel in der Bodenqualität, und eine unkomplizierte Diversifizierung im Anbau, die eine Risikominderung bedeutet (Rosa-Schleich et al., 2019). Ebenso fördern kleine Felder Ökosystemdienstleistungen durch Nutzpflanzenbestäubung und biologische Schädlingsbekämpfung (Martin et al., 2019), die Anreizsysteme für umweltfreundliche Bewirtschaftung auch wirtschaftlich interessant machen könnten.

Sehr interessant sind auch die Ergebnisse des Vergleichs der großteiligen Agrarlandschaft in Thüringen (im Mittel mit 20ha großen Winterweizenfeldern) mit der kleinteiligen Agrarlandschaft in Niedersachsen (im Mittel mit 3 ha großen Feldern) (Batáry et al., 2017). Entsprechend lag die Randlänge pro Landschaft (in einem 500m Radius um die Flächen) in der großteiligen Landschaft bei 11km, in der kleinteiligen Landschaft dagegen bei 19km. Der Profit pro ha (Einkommen nach Abzug aller Kosten) lag in der großteiligen Landschaft um 50-60% höher wegen der geringeren Produktionskosten bei großen Schlägen. Pestizid- und Düngereinsatz änderte sich auch nicht mit der Schlaggröße. Der Weizen-Ertrag wurde von der Schlaggröße nicht beeinflusst und lag im Mittel bei 85 dt/ha, im Öko-Landbau dagegen bei 41-48 dt/ha. Im Getreideanbau erzielt der Öko-Landbau oft nur die Hälfte des Ertrags und weltweit, über alle Anbausysteme hinweg betrachtet, werden 19-25 % geringere Erträge erwirtschaftet (Reganold and Wachter, 2016) (Meemken and Qaim, 2018).

Kooperation für eine kleinstrukturierte Landschaft

Die große Bedeutung kleiner und diversifizierter landwirtschaftlicher Strukturen kommt erst dann in vollem Umfang zum Tragen, wenn es sich um Maßnahmen über die gesamte Landschaft hinweg handelt (Tscharntke et al., 2005) (Tscharntke et al., 2012b). Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass je nach Region unterschiedliche Zielsetzungen vorliegen können, da unterschiedliche Artengruppen und unterschiedliche Artenpools im Fokus sind (Sutcliffe et al., 2015). Eine gute Lösung besteht darin, Anreize zur Zusammenarbeit auf Landschaftsebene zu setzen. Kooperationen auf der Ebene der Kommune, zum Beispiel durch Absprache mit allen Interessensgruppen am Runden Tisch, können zu einer gemeinsamen Strategie für eine kleinteilige Landschaft führen. Dazu gehört auch der Informations-Austausch zu neuen Bewirtschaftungsansätzen, gemeinsamer Nutzung neuer, angepasster Maschinen und zum Aufbau geeigneter Vermarktungswege, insbesondere wenn die Anbaudiversifizierung mit der Kultivierung neuer Feldfruchtarten einhergeht. Die Optimierung der

Landschaftsgestaltung durch Zusammenarbeit ist eine Herausforderung, aber erste Erfolge mit runden Tischen stimmen optimistisch (Prager, 2015) (McKenzie et al., 2013) (Landis, 2017).

Gemeinwohlprämie

Der Deutsche Verband für Landschaftspflege (DVL) hat mit der „Gemeinwohlprämie“ einen Vorschlag zur Ausgestaltung der Öko-Regeln in der ersten Säule der GAP vorgelegt. Die Gemeinwohlprämie bezieht sich auf die Honorierung von insgesamt 19 Maßnahmen auf Acker, Grünland und Sonderkulturen sowie Stickstoff- und Phosphor-Bilanzen. Auf diese Weise sollen die Landwirte den Umfang ihrer Leistungen und der entsprechenden Honorierung selber entscheiden, die dann durch Umweltmaßnahmen in der zweiten Säule ergänzt werden können. Die Grundzüge der Bewertungsmethode der Gemeinwohlprämie beruhen auf einem Punktbewertungsverfahren, so wie es auch schon anderswo vorgeschlagen wurde (Lampkin et al., 2020).

Bundesweite Maßnahmen der Gemeinwohlprämie

Acker (AL):

AL 1 Kleinteilige Ackerbewirtschaftung
AL 2 Sommergetreide
AL 3 Leguminosen und deren Gemenge
AL 4 Unbearbeitete Stoppeläcker
AL 5 Blühflächen und -streifen
AL 6 Brache mit Selbstbegrünung
AL 7 Verzicht auf chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel und Mineraldünger

Grünland (GL):

GL 1 Kleinteilige Grünlandbewirtschaftung
GL 2 Dauergrünland
GL 3 Weide
GL 4 Altgras- und Saumstreifen
GL 5 Verzicht auf chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel und Mineraldünger
GL 6 Verzicht auf organische Düngung
GL 7 Streuobst mit Grünlandnutzung

Sonderkulturen (SO):

SO 1 Alternierende Bewirtschaftung der Fahrgassen
SO 2 Blüh- und Nützlingsstreifen
SO 3 Verzicht auf chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel und Mineraldünger

Hoftorbilanzen (HO):

HO 1 Brutto-Hoftor-Stickstoff (N)-Bilanz
HO 2 Hoftor-Phosphor (P)-Bilanz

Abbildung 3: Bundesweite Maßnahmen der Gemeinwohlprämie (DHL 2/2020)

Im Hinblick auf eine kleinteilige Ackerbewirtschaftung schlägt der DLV vor, dass für die Gemeinwohlprämie a) die Schläge unter 10ha groß sein und b) die benachbarten Schläge eines Betriebes unterschiedliche Kulturen aufweisen sollen. Ähnliches gilt auch für die kleinteilige Grünlandbewirtschaftung (<10ha, angrenzende Schläge mit unterschiedlichen Nutzungscodes). Ein Prüfbericht kommt zu dem Schluss, dass die Gemeinwohlprämie ein geeignetes Instrument zur Förderung der Ökoregelungen ist, vor allem von Maßnahmen, die die Biodiversität erhalten und fördern (Röder et al., 2020). Aber sie verweisen auch auf eine Reihe konkreter Verbesserungsvorschläge. Ein Vorteil ist sicher, dass das System flexibel ist und die Weiterentwicklung und Gewichtung der Maßnahmen durch Veränderung ihrer Punktwerte unkompliziert erfolgen kann.

Die hier vorgestellte und belegte Bedeutung kleiner Felder (<6 ha) für die Biodiversität zeigt deutlich, dass disproportional große Effekte bei einer mittleren Schlaggröße von unterhalb 6 Hektar erfolgen. Dieser nicht-lineare Effekt (Abb. 2 D) bedeutet, dass jeder ha weniger überproportional starke Biodiversitäts-Effekte zeigt – so ist die Reduzierung von 6ha auf 1ha mit einer 6-fachen Erhöhung des Artenreichtums verbunden. Deshalb ist es wenig sinnvoll, den Grenzwert pauschal auf 10ha zu legen. Weiterhin sollte die Punktzahl progressiv zunehmen mit jedem Schritt der ha-Reduktion. Zudem ist zu berücksichtigen, dass 61 % der Ackerfläche und 83% der Grünlandfläche ohnehin in Schlägen mit weniger als 10 ha liegt, so dass der Anreiz für eine Verkleinerung sich in Grenzen hält (Röder et al., 2020) und Mitnahmeeffekte eine große Rolle spielen dürften.

Ebenso müsste die Kulturarten-Vielfalt genauer definiert werden. Sicher ist ein Nebeneinander verschiedener Getreidearten von weit geringerer Bedeutung als ein Nebeneinander von Blatt- und Halmfrüchten aus verschiedenen Familien (Raps-Brassicaceae, Luzerne-Fabaceae, Roggen-Poaceae, etc.). Auch eine Kontinuität der Bodenbedeckung mit Sommer- und Winter- und Zwischenfrüchten ist zu wünschen. Je kontrastreicher die Kulturen, umso größer sollte der Wert der Diversifizierung für die Biodiversität sein. Zudem werden bisher Sorten- und Artengemenge nicht berücksichtigt oder der Misch-Anbau mehrerer Kulturen auf einem Schlag, wie z.B. beim Raps/Weizen-Streifenanbau

(Interview Tscharntke topagrar 6/2020, p. 44). Vermutlich würden Landwirte verschiedene Wege zur Verkleinerung der Schläge suchen, um die Prämie zu erhalten (Röder et al., 2020). Eine Möglichkeit der Umsetzung ist der genannte Streifenanbau, eine andere die Feldunterteilung durch Brachestreifen, was besonders förderlich für die Artenvielfalt wäre.

Schlussfolgerung und Ausblick:

Biodiversitätsfreundliche Maßnahmen in Agrarlandschaften

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass eine vielfältige und kleinteilige Agrarstruktur eine bisher deutlich unterschätzte Bedeutung für die Biodiversität hat, insbesondere wenn sie in der gesamten Landschaft realisiert wird. Zudem kann sie im ökologischen wie auch im konventionellen Landbau realisiert werden. Die Vorteile des Öko-Landbaus für die Biodiversität sind begrenzt, solange die Öko-Zertifizierung nicht mit einer vielfältigen und kleinteiligen Agrarstruktur verbunden ist. Selbst im Rahmen des EU-Ziels des Green Deals, bis 2030 einen Anteil von 25 % ökologischer Landwirtschaft zu erreichen, ist es notwendig, die 75 % konventioneller Landwirtschaft, die die meisten Landschaften prägt, ins Visier zu nehmen und Anreize für eine kleinstrukturierte und vielfältige Mosaiklandschaft zu setzen. Darin sollte auch der Schutz bzw. die Wiederherstellung naturnaher Lebensraumreste seinen Platz bekommt. Bisher waren Agrarumweltmaßnahmen für biodiversitätsfreundliches Management auf die lokale Ebene orientiert, so dass die Perspektive auf die Landschaftsebene erweitert werden muss. Denn das Überleben fast aller lokalen Populationen und Arten hängt von einer tragfähigen Landschafsstruktur ab. Ein Landschaftsmanagement für die Biodiversität, das ein kleinräumiges und vielfältiges Mosaik aus landwirtschaftlichen und natürlichen Lebensraumtypen umfasst, sollte insbesondere in hochintensiven, monotonen Regionen umgesetzt werden. Auf diese Weise besteht die Möglichkeit, die Durchlässigkeit für die Ausbreitung von Organismen über Lebensraumtypen und Landschaften hinweg zu fördern und damit die Vernetzung der Landschaft zu verbessern (Abb. 4). Das langfristige Überleben in den kleinen Lebensraumresten der

Kulturlandschaften hängt von der Möglichkeit zur Wiederbesiedlung ab; andernfalls wird das lokale Aussterben zu dem dominanten Prozess (Perfecto and Vandermeer, 2010) (Tscharntke and Brandl, 2004). Der Biotopverbund, und damit die Durchlässigkeit der Landschaften für Organismen, ist eines der wichtigsten Landschaftsmerkmale (Perović et al., 2015). Witterungsextreme oder zufälliges Aussterben durch kleine Populationen (Tscharntke et al., 2002) (Tscharntke et al., 2002) können nur durch Einwanderung ausgeglichen werden. Die Vernetzung zwischen kleinteiligen und vielfältigen Agrarflächen und naturnahen Gebieten ermöglicht den Austausch von Populationen. Das nachhaltige Management multifunktionaler Landschaften erfordert eine Kombination von kleinteiliger Agrarstruktur, einem vielfältigen Landnutzungsmuster mit naturnahen Flächen, um die Vernetzung in der Landschaft zu fördern und Aussterbe-Wahrscheinlichkeiten zu verringern (Grass et al., 2019) (Grass et al., 2021) (Abb. 4).

Die Anreizsysteme sollten viel stärker als bisher die Vielfalt und Heterogenität der Landnutzung und die kleinräumige Bewirtschaftung stärken, da Landschaften mit großer Kulturartenvielfalt und kleinen Flächen mit ihren langen Rändern einen sehr großen Beitrag zur Biodiversität leisten. Die Optimierung der Landschaftsgestaltung erfordert die Zusammenarbeit von Landwirten mit diversen Interessengruppen, nicht zuletzt da die notwendige Multifunktionalität von Agrarlandschaften einen Ausgleich zwischen sozioökonomischen und ökologischen Gütern erfordert.

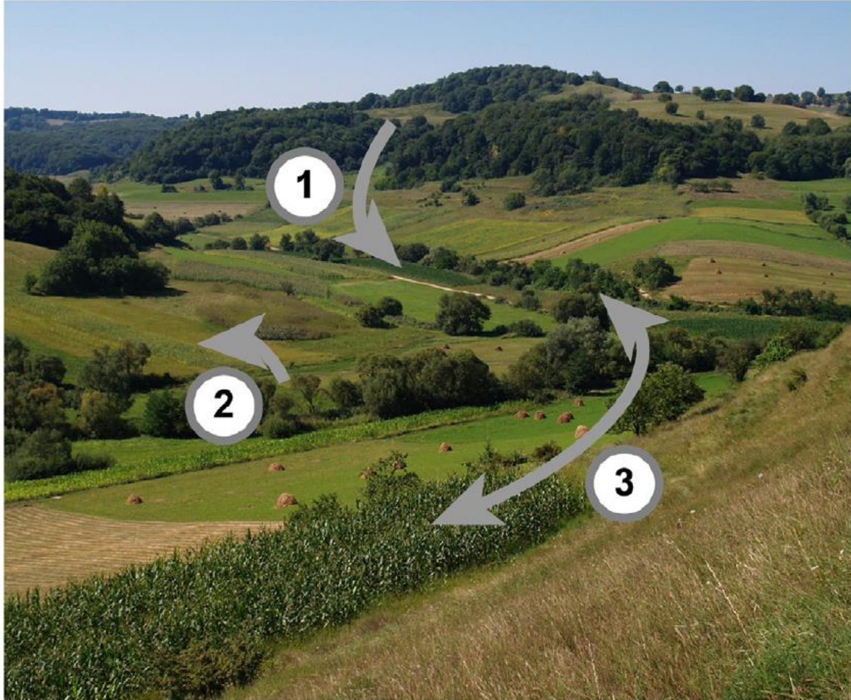


Abbildung 4: Vernetzung der Populationen in vielfältigen und kleinstrukturierten Agrarlandschaften.

Vernetzung/Biotopverbund ermöglicht den Austausch zwischen größeren naturnahen Lebensräumen (mit ihren auch selteneren Arten), Randstreifen und Feldern (mit ihren häufigeren Arten), so dass die Aussterbe-Wahrscheinlichkeit verringert wird und mehr Biodiversität und Ökosystemdienstleistungen gefördert werden. (1) Vom größeren Lebensraum in den Acker, (2) vom Randstreifen in den Acker und (3) Austausch zwischen Randstreifen und größerem Lebensraum. Photo: Tibor Härtel. (Grass et al., 2021)

Literaturverzeichnis

Aguilera, G., Roslin, T., Miller, K., Tamburini, G., Birkhofer, K., Caballero-Lopez, B., Lindström, S.A.-M., Öckinger, E., Rundlöf, M., Rusch, A., Smith, H.G., Bommarco, R., 2020. Crop diversity benefits carabid and pollinator communities in landscapes with semi-natural habitats. J. Appl. Ecol. 57, 2170–2179. https://doi.org/10.1111/1365-2664.13712

Alignier, A., Solé-Senan, X.O., Robleño, I., Baraibar, B., Fahrig, L., Giralt, D., Gross, N., Martin, J.L., Recasens, J., Sirami, C., Siriwardena, G., Bosem Baillod, A., Bertrand, C., Carrié, R., Hass, A., Henckel, L., Miguet, P., Badenhausser, I., Baudry, J., Bota, G., Bretagnolle, V., Brotons, L., Burel, F., Calatayud, F., Clough, Y., Georges, R., Gibon, A., Girard, J., Lindsay, K., Minano, J., Mitchell, S., Patry, N., Poulin, B., Tscharntke, T., Vialatte, A., Violle, C., Yaverscovski, N., Batáry, P., 2020. Configurational crop heterogeneity increases within-field plant diversity. J. Appl. Ecol.

Andrén, H., 1994. Effects of Habitat Fragmentation on Birds and Mammals in Landscapes with Different Proportions of Suitable Habitat: A Review. Oikos 71, 355–366. https://doi.org/10.2307/3545823

Baillod, A.B., Tscharntke, T., Clough, Y., Batáry, P., 2017. Landscape-scale interactions of spatial and temporal cropland heterogeneity drive biological control of cereal aphids. J. Appl. Ecol. 54, 1804–1813. https://doi.org/10.1111/1365-2664.12910

Barbieri, P., Pellerin, S., Nesme, T., 2017. Comparing crop rotations between organic and conventional farming. Sci. Rep. 7. https://doi.org/10.1038/s41598-017-14271-6

Batáry, P., Gallé, R., Riesch, F., Fischer, C., Dormann, C.F., Mußhoff, O., Császár, P., Fusaro, S., Gayer, C., Happe, A.-K., Kurucz, K., Molnár, D., Rösch, V., Wietzke, A., Tscharntke, T., 2017. The former Iron Curtain still drives biodiversity-profit trade-offs in German agriculture. Nat. Ecol. Evol. 1, 1279–1284. https://doi.org/10.1038/s41559-017-0272-x

Batary, P., Matthiesen, T., Tscharntke, T., 2010. Landscape-moderated importance of hedges in conserving farmland bird diversity of organic vs. conventional croplands and grasslands. Biol. Conserv. 143, 2020–2027. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.05.005

Bennett, A.J., Bending, G.D., Chandler, D., Hilton, S., Mills, P., 2012. Meeting the demand for crop production: the challenge of yield decline in crops grown in short rotations. Biol. Rev. 87, 52–71. https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2011.00184.x

Benton, T.G., Vickery, J.A., Wilson, J.D., 2003. Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key? Trends Ecol. Evol. 18, 182–188. https://doi.org/10.1016/S0169-5347(03)00011-9

Beyer, N., Gabriel, D., Kirsch, F., Schulz-Kesting, K., Dauber, J., Westphal, C., 2020. Functional groups of wild bees respond differently to faba bean Vicia faba L. cultivation at landscape scale. J. Appl. Ecol. 57, 2499–2508. https://doi.org/10.1111/1365-2664.13745

BfN (Bundesamt für Naturschutz), 2015. Artenschutz-Report 64 pp.

Bianchi, F.J.J.A., Booij, C.J.H., Tscharntke, T., 2006. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. Proc. Biol. Sci. 273, 1715–1727. https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3530

Bratman, G.N., Anderson, C.B., Berman, M.G., Cochran, B., de Vries, S., Flanders, J., Folke, C., Frumkin, H., Gross, J.J., Hartig, T., Kahn, P.H., Kuo, M., Lawler, J.J., Levin, P.S., Lindahl, T., Meyer-Lindenberg, A., Mitchell, R., Ouyang, Z., Roe, J., Scarlett, L., Smith, J.R., van den Bosch, M., Wheeler, B.W., White, M.P., Zheng, H., Daily, G.C., 2019. Nature and mental health: An ecosystem service perspective. Sci. Adv. 5, eaax0903. https://doi.org/10.1126/sciadv.aax0903

Clough, Y., Holzschuh, A., Gabriel, D., Purtauf, T., Kleijn, D., Kruess, A., Steffan-Dewenter, I., Tscharntke, T., 2007. Alpha and beta diversity of arthropods and plants in organically and conventionally managed wheat fields. J. Appl. Ecol. 44, 804–812. https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01294.x

Clough, Y., Kirchweger, S., Kantelhardt, J., 2020. Field sizes and the future of farmland biodiversity in European landscapes. Conserv. Lett. 13, e12752. https://doi.org/10.1111/conl.12752

Engelhardt, 2004. Auswirkungen von Flächengröße und Flächenform auf Wendezeiten, Arbeitserledigung und verfahrenstechnische Maßnahmen im Ackerbau. Universität Gießen, Gießen.

Fahrig, L., Brotons, L., Burel, F., Crist, T., Fuller, R., Sirami, C., Siriwardena, G., Martin, J.-L., 2010. Functional Landscape Heterogeneity and Animal Biodiversity in Agricultural Landscapes. Ecol. Lett. 14, 101–12. https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01559.x

FIBL, Mostafavikashani, S., Oehen, B., Kretzschmar, U., 2020. Biolabel einfach erklärt. Eine Orientierungshilfe zum Einkauf von Bioprodukten. Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL, CH-Frick.

Flohre, A., Fischer, C., Aavik, T., Bengtsson, J., Berendse, F., Bommarco, R., Ceryngier, P., Clement, L.W., Dennis, C., Eggers, S., Emmerson, M., Geiger, F., Guerrero, I., Hawro, V., Inchausti, P., Liira, J., Morales, M.B., Oñate, J.J., Pärt, T., Weisser, W.W., Winqvist, C., Thies, C., Tscharntke, T., 2011. Agricultural intensification and biodiversity partitioning in European landscapes comparing plants, carabids, and birds. Ecol. Appl. Publ. Ecol. Soc. Am. 21, 1772–1781. https://doi.org/10.1890/10-0645.1

Gámez-Virués, S., Perović, D.J., Gossner, M.M., Börschig, C., Blüthgen, N., de Jong, H., Simons, N.K., Klein, A.-M., Krauss, J., Maier, G., Scherber, C., Steckel, J., Rothenwöhrer, C., Steffan-Dewenter, I., Weiner, C.N., Weisser, W., Werner, M., Tscharntke, T., Westphal, C., 2015. Landscape simplification filters species traits and drives biotic homogenization. Nat. Commun. 6, 1–8. https://doi.org/10.1038/ncomms9568

Garibaldi, L.A., Oddi, F.J., Miguez, F.E., Bartomeus, I., Orr, M.C., Jobbágy, E.G., Kremen, C., Schulte, L.A., Hughes, A.C., Bagnato, C., Abramson, G., Bridgewater, P., Carella, D.G., Díaz, S., Dicks, L.V., Ellis, E.C., Goldenberg, M., Huaylla, C.A., Kuperman, M., Locke, H., Mehrabi, Z., Santibañez, F., Zhu, C.-D., 2021. Working landscapes need at least 20% native habitat. Conserv. Lett. e12773. https://doi.org/10.1111/conl.12773

Gonthier, D.J., Ennis, K.K., Farinas, S., Hsieh, H.-Y., Iverson, A.L., Batáry, P., Rudolphi, J., Tscharntke, T., Cardinale, B.J., Perfecto, I., 2014. Biodiversity conservation in agriculture requires a multi-scale approach. Proc. Biol. Sci. 281, 20141358. https://doi.org/10.1098/rspb.2014.1358

Grass, I., Bátary, P., Tscharntke, Teja, 2021. Combining land-sparing and land-sharing in European landscapes. Adv. Ecol. Res.

Grass, I., Loos, J., Baensch, S., Batáry, P., Librán-Embid, F., Ficiciyan, A., Klaus, F., Riechers, M., Rosa, J., Tiede, J., Udy, K., Westphal, C., Wurz, A., Tscharntke, T., 2019. Land-sharing/-sparing connectivity landscapes for ecosystem services and biodiversity conservation. People Nat. 1, 262–272. https://doi.org/10.1002/pan3.21

Haan, N.L., Iuliano, B.G., Gratton, C., Landis, D.A., 2021. Designing agricultural landscapes for arthropod-based ecosystem services in North America. Adv. Ecol. Res.

Hass, A.L., Brachmann, L., Batáry, P., Clough, Y., Behling, H., Tscharntke, T., 2019. Maize-dominated landscapes reduce bumblebee colony growth through pollen diversity loss. J. Appl. Ecol. 56, 294–304. https://doi.org/10.1111/1365-2664.13296

Hass, A.L., Kormann, U.G., Tscharntke, T., Clough, Y., Baillod, A.B., Sirami, C., Fahrig, L., Martin, J.-L., Baudry, J., Bertrand, C., Bosch, J., Brotons, L., Burel, F., Georges, R., Giralt, D., Marcos-García, M.Á., Ricarte, A., Siriwardena, G., Batáry, P., 2018. Landscape configurational heterogeneity by small-scale agriculture, not crop diversity, maintains pollinators and plant reproduction in western Europe. Proc. R. Soc. B Biol. Sci. 285, 20172242. https://doi.org/10.1098/rspb.2017.2242

Hole, D.G., Perkins, A.J., Wilson, J.D., Alexander, I.H., Grice, P.V., Evans, A.D., 2005. Does organic farming benefit biodiversity? Biol. Conserv. 122, 113–130. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2004.07.018

IPBS (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services), I., 2019. Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services. Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.3553579

Iverson, A.L., Marín, L.E., Ennis, K.K., Gonthier, D.J., Connor-Barrie, B.T., Remfert, J.L., Cardinale, B.J., Perfecto, I., 2014. REVIEW: Do polycultures promote win-wins or trade-offs in agricultural ecosystem services? A meta-analysis. J. Appl. Ecol. 51, 1593–1602. https://doi.org/10.1111/1365-2664.12334
Jahns, G., Steinkampf, H., Olfe, G., Schön, H., 2013. Einfluß landwirtschaftlicher Parameter auf Zeit- und Energiebedarf bei Schlepperarbeiten. Grundlagen Landtech. 33.
Junge, S., 2021. Wachsen oder Weichen – Deutsche Landwirtschaft im Strukturwandel | bpb [WWW Document]. bpb.de. URL https://www.bpb.de/gesellschaft/umwelt/landwirtschaft/325872/strukturwandel (accessed 3.12.21).
Kleijn, D., Bommarco, R., Fijen, T.P.M., Garibaldi, L.A., Potts, S.G., van der Putten, W.H., 2019. Ecological intensification: Bridging the gap between science and practice. Trends Ecol. Evol. 34, 154–166. https://doi.org/10.1016/j.tree.2018.11.002
Kleijn, D., Rundlöf, M., Scheper, J., Smith, H.G., Tscharntke, T., 2011. Does conservation on farmland contribute to halting the biodiversity decline? Trends Ecol. Evol. 26, 474–481. https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.05.009
Kleijn, D., Winfree, R., Bartomeus, I., Carvalheiro, L.G., Henry, M., Isaacs, R., Klein, A.-M., Kremen, C., M'Gonigle, L.K., Rader, R., Ricketts, T.H., Williams, N.M., Lee Adamson, N., Ascher, J.S., Báldi, A., Batáry, P., Benjamin, F., Biesmeijer, J.C., Blitzer, E.J., Bommarco, R., Brand, M.R., Bretagnolle, V., Button, L., Cariveau, D.P., Chifflet, R., Colville, J.F., Danforth, B.N., Elle, E., Garratt, M.P.D., Herzog, F., Holzschuh, A., Howlett, B.G., Jauker, F., Jha, S., Knop, E., Krewenka, K.M., Le Féon, V., Mandelik, Y., May, E.A., Park, M.G., Pisanty, G., Reemer, M., Riedinger, V., Rollin, O., Rundlöf, M., Sardiñas, H.S., Scheper, J., Sciligo, A.R., Smith, H.G., Steffan-Dewenter, I., Thorp, R., Tscharntke, T., Verhulst, J., Viana, B.F., Vaissière, B.E., Veldtman, R., Ward, K.L., Westphal, C., Potts, S.G., 2015. Delivery of crop pollination services is an insufficient argument for wild pollinator conservation. Nat. Commun. 6, 7414. https://doi.org/10.1038/ncomms8414
Kormann, U., Rösch, V., Batáry, P., Tscharntke, T., Orci, K.M., Samu, F., Scherber, C., 2015. Local and landscape management drive trait-mediated biodiversity of nine taxa on small grassland fragments. Divers. Distrib. 21, 1204–1217. https://doi.org/10.1111/ddi.12324
Kremen, C., Miles, A., 2012. Ecosystem Services in Biologically Diversified versus Conventional Farming Systems: Benefits, Externalities, and Trade-Offs. Ecol. Soc. 17. https://doi.org/10.5751/ES-05035-170440
Lampkin, N., Stolze, M., Meredith, S., de Porras, M., Haller, L., Mészáros, D., 2020. Using Eco-schemes in the new CAP: a guide for managing authorities. IFOAM EU FIBL IEEP Bruss.
Landis, D.A., 2017. Designing agricultural landscapes for biodiversity-based ecosystem services. Basic Appl. Ecol. 18, 1–12. https://doi.org/10.1016/j.baae.2016.07.005
Lichtenberg, E.M., Kennedy, C.M., Kremen, C., Batáry, P., Berendse, F., Bommarco, R., Bosque-Pérez, N.A., Carvalheiro, L.G., Snyder, W.E., Williams, N.M., Winfree, R., Klatt, B.K., Åström, S., Benjamin, F., Brittain, C., Chaplin-Kramer, R., Clough, Y., Danforth, B., Diekötter, T., Eigenbrode, S.D., Ekroos, J., Elle, E., Freitas, B.M., Fukuda, Y., Gaines-Day, H.R., Grab, H., Gratton, C., Holzschuh, A., Isaacs, R., Isaia, M., Jha, S., Jonason, D., Jones, V.P., Klein, A.-M., Krauss, J., Letourneau, D.K., Macfadyen, S., Mallinger, R.E., Martin, E.A., Martinez, E., Memmott, J., Morandin, L., Neame, L., Otieno, M., Park, M.G., Pfiffner, L., Pocock, M.J.O., Ponce, C., Potts, S.G., Poveda, K., Ramos, M., Rosenheim, J.A., Rundlöf, M., Sardiñas, H., Saunders, M.E., Schon, N.L., Sciligo, A.R., Sidhu, C.S., Steffan-Dewenter, I., Tscharntke, T., Veselý, M., Weisser, W.W., Wilson, J.K., Crowder, D.W., 2017. A global synthesis of the effects of diversified farming systems on arthropod diversity within fields and across agricultural landscapes. Glob. Change Biol. 23, 4946–4957. https://doi.org/10.1111/gcb.13714
Mäder, P., Fliessbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., Niggli, U., 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. Science 296, 1694–1697. https://doi.org/10.1126/science.1071148

Marja, R., Kleijn, D., Tscharntke, T., Klein, A.-M., Frank, T., Batáry, P., 2019. Effectiveness of agri-environmental management on pollinators is moderated more by ecological contrast than by landscape structure or land-use intensity. Ecol. Lett. 22, 1493–1500. https://doi.org/10.1111/ele.13339

Martin, E.A., Dainese, M., Clough, Y., Báldi, A., Bommarco, R., Gagic, V., Garratt, M.P.D., Holzschuh, A., Kleijn, D., Kovács-Hostyánszki, A., Marini, L., Potts, S.G., Smith, H.G., Hassan, D.A., Albrecht, M., Andersson, G.K.S., Asís, J.D., Aviron, S., Balzan, M.V., Baños-Picón, L., Bartomeus, I., Batáry, P., Burel, F., Caballero-López, B., Concepción, E.D., Coudrain, V., Dänhardt, J., Diaz, M., Diekötter, T., Dormann, C.F., Duflot, R., Entling, M.H., Farwig, N., Fischer, C., Frank, T., Garibaldi, L.A., Hermann, J., Herzog, F., Inclán, D., Jacot, K., Jauker, F., Jeanneret, P., Kaiser, M., Krauss, J., Féon, V.L., Marshall, J., Moonen, A.-C., Moreno, G., Riedinger, V., Rundlöf, M., Rusch, A., Scheper, J., Schneider, G., Schüepp, C., Stutz, S., Sutter, L., Tamburini, G., Thies, C., Tormos, J., Tscharntke, T., Tschumi, M., Uzman, D., Wagner, C., Zubair-Anjum, M., Steffan-Dewenter, I., 2019. The interplay of landscape composition and configuration: new pathways to manage functional biodiversity and agroecosystem services across Europe. Ecol. Lett. 22, 1083–1094. https://doi.org/10.1111/ele.13265

McKenzie, A.J., Emery, S.B., Franks, J.R., Whittingham, M.J., 2013. Landscape-scale conservation: collaborative agri-environment schemes could benefit both biodiversity and ecosystem services, but will farmers be willing to participate? J. Appl. Ecol. 50, 1274–1280. https://doi.org/10.1111/1365-2664.12122

Meemken, E.-M., Qaim, M., 2018. Organic agriculture, food security, and the environment. Annu. Rev. Resour. Econ. 10, 39–63. https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100517-023252

Meyer, S., Wesche, K., Krause, B., Leuschner, C., 2013. Dramatic losses of specialist arable plants in Central Germany since the 1950s/60s – a cross-regional analysis. Divers. Distrib. 19, 1175–1187. https://doi.org/10.1111/ddi.12102

Muneret, L., Mitchell, M., Seufert, V., Aviron, S., Djoudi, E.A., Pétillon, J., Plantegenest, M., Thiéry, D., Rusch, A., 2018. Evidence that organic farming promotes pest control. Nat. Sustain. 1, 361–368. https://doi.org/10.1038/s41893-018-0102-4

Nilsson, D., Rosenqvist, H., Bernesson, S., 2015. Profitability of the production of energy grasses on marginal agricultural land in Sweden. Biomass Bioenergy 83, 159–168. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.09.007

Pe’er, G., Dicks, L.V., Visconti, P., Arlettaz, R., Báldi, A., Benton, T.G., Collins, S., Dieterich, M., Gregory, R.D., Hartig, F., Henle, K., Hobson, P.R., Kleijn, D., Neumann, R.K., Robijns, T., Schmidt, J., Shwartz, A., Sutherland, W.J., Turbé, A., Wulf, F., Scott, A.V., 2014. EU agricultural reform fails on biodiversity. Science 344, 1090–1092. https://doi.org/10.1126/science.1253425

Perfecto, I., Vandermeer, J., 2010. The agroecological matrix as alternative to the land-sparing/agriculture intensification model. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 107, 5786–5791. https://doi.org/10.1073/pnas.0905455107

Perović, D., Gámez-Virués, S., Börschig, C., Klein, A.-M., Krauss, J., Steckel, J., Rothenwöhrer, C., Erasmi, S., Tscharntke, T., Westphal, C., 2015. Configurational landscape heterogeneity shapes functional community composition of grassland butterflies. J. Appl. Ecol. 52, 505–513. https://doi.org/10.1111/1365-2664.12394

Ponisio, L.C., M’Gonigle, L.K., Mace, K.C., Palomino, J., de Valpine, P., Kremen, C., 2015. Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. Proc. R. Soc. B Biol. Sci. 282, 20141396. https://doi.org/10.1098/rspb.2014.1396

Prager, K., 2015. Agri-environmental collaboratives for landscape management in Europe. Curr. Opin. Environ. Sustain., Sustainability governance and transformation 12, 59–66. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.10.009

Raderschall, C.A., Bommarco, R., Lindström, S.A.M., Lundin, O., 2021. Landscape crop diversity and semi-natural habitat affect crop pollinators, pollination benefit and yield. Agric. Ecosyst. Environ. 306, 107189. https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107189

Redlich, S., Martin, E.A., Steffan-Dewenter, I., 2018. Landscape-level crop diversity benefits biological pest control. J. Appl. Ecol. 55, 2419–2428. https://doi.org/10.1111/1365-2664.13126

Reganold, J.P., Wachter, J.M., 2016. Organic agriculture in the twenty-first century. Nat. Plants 2, 1–8. https://doi.org/10.1038/nplants.2015.221

Röder, N., Laggner, B., Reiter, K., Offermann, F., 2020. Prüfung des DVL-Modells „Gemeinwohlprämie "als potenzielle Ökoregelung der GAP nach 2020–Stellungnahme für das BMEL–. Thünen Work. Pap. 166 1–81.

Rosa-Schleich, J., Loos, J., Mußhoff, O., Tscharntke, T., 2019. Ecological-economic trade-offs of Diversified Farming Systems – A review. Ecol. Econ. 160, 251–263. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.03.002

Rösch, V., Tscharntke, T., Scherber, C., Batáry, P., 2015. Biodiversity conservation across taxa and landscapes requires many small as well as single large habitat fragments. Oecologia 179, 209–222. https://doi.org/10.1007/s00442-015-3315-5

Rundlöf, M., Persson, A.S., Smith, H.G., Bommarco, R., 2014. Late-season mass-flowering red clover increases bumble bee queen and male densities. Biol. Conserv. 172, 138–145. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.02.027

Rusch, A., Chaplin-Kramer, R., Gardiner, M.M., Hawro, V., Holland, J., Landis, D., Thies, C., Tscharntke, T., Weisser, W.W., Winqvist, C., Woltz, M., Bommarco, R., 2016. Agricultural landscape simplification reduces natural pest control: A quantitative synthesis. Agric. Ecosyst. Environ. 221, 198–204. https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.039

Sala, O.E., Chapin, F.S., Iii, Armesto, J.J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., Huber-Sanwald, E., Huenneke, L.F., Jackson, R.B., Kinzig, A., Leemans, R., Lodge, D.M., Mooney, H.A., Oesterheld, M., Poff, N.L., Sykes, M.T., Walker, B.H., Walker, M., Wall, D.H., 2000. Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100. Science 287, 1770–1774. https://doi.org/10.1126/science.287.5459.1770

Sánchez-Bayo, F., Wyckhuys, K.A.G., 2019. Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. Biol. Conserv. 232, 8–27. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.01.020

Schellhorn, N.A., Gagic, V., Bommarco, R., 2015. Time will tell: resource continuity bolsters ecosystem services. Trends Ecol. Evol. 30, 524–530. https://doi.org/10.1016/j.tree.2015.06.007

Seibold, S., Gossner, M.M., Simons, N.K., Blüthgen, N., Müller, J., Ambarlı, D., Ammer, C., Bauhus, J., Fischer, M., Habel, J.C., Linsenmair, K.E., Nauss, T., Penone, C., Prati, D., Schall, P., Schulze, E.-D., Vogt, J., Wöllauer, S., Weisser, W.W., 2019. Arthropod decline in grasslands and forests is associated with landscape-level drivers. Nature 574, 671–674. https://doi.org/10.1038/s41586-019-1684-3

Seufert, V., Mehrabi, Z., Gabriel, D., Benton, T.G., 2019. Current and potential contributions of organic agriculture to diversification of the food production system. Agroecosystem Divers. Reconciling Contemp. Agric. Environ. Qual. 435–452. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811050-8.00028-5

Sirami, C., Gross, N., Baillod, A.B., Bertrand, C., Carrié, R., Hass, A., Henckel, L., Miguet, P., Vuillot, C., Alignier, A., Girard, J., Batáry, P., Clough, Y., Violle, C., Giralt, D., Bota, G., Badenhausser, I., Lefebvre, G., Gauffre, B., Vialatte, A., Calatayud, F., Gil-Tena, A., Tischendorf, L., Mitchell, S., Lindsay, K., Georges, R., Hilaire, S., Recasens, J., Solé-Senan, X.O., Robleño, I., Bosch, J., Barrientos, J.A., Ricarte, A., Marcos-Garcia, M.Á., Miñano, J., Mathevet, R., Gibon, A., Baudry, J., Balent, G., Poulin, B., Burel, F., Tscharntke, T., Bretagnolle, V., Siriwardena, G., Ouin, A., Brotons, L., Martin, J.-L., Fahrig, L., 2019. Increasing crop heterogeneity enhances multitrophic diversity across agricultural regions. Proc. Natl. Acad. Sci. 116, 16442–16447. https://doi.org/10.1073/pnas.1906419116

Steffan-Dewenter, I., Münzenberg, U., Bürger, C., Thies, C., Tscharntke, T., 2002. Scale-Dependent Effects of Landscape Context on Three Pollinator Guilds. Ecology 83, 1421–1432. https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083[1421:SDEOLC]2.0.CO;2

Steinmann, H.-H., Dobers, E.S., 2013. Spatio-temporal analysis of crop rotations and crop sequence patterns in Northern Germany: potential implications on plant health and crop protection. J. Plant Dis. Prot. 120, 85–94.

Sutcliffe, L.M.E., Batáry, P., Kormann, U., Báldi, A., Dicks, L.V., Herzon, I., Kleijn, D., Tryjanowski, P., Apostolova, I., Arlettaz, R., Aunins, A., Aviron, S., Baležentienė, L., Fischer, C., Halada, L., Hartel, T., Helm, A., Hristov, I., Jelaska, S.D., Kaligarič, M., Kamp, J., Klimek, S., Koorberg, P., Kostiuková, J., Kovács-Hostyánszki, A., Kuemmerle, T., Leuschner, C., Lindborg, R., Loos, J., Maccherini, S., Marja, R., Máthé, O., Paulini, I., Proença, V., Rey-Benayas, J., Sans, F.X., Seifert, C., Stalenga, J., Timaeus, J., Török, P., Swaay, C. van, Viik, E., Tscharntke, T., 2015. Harnessing the biodiversity value of Central and Eastern European farmland. Divers. Distrib. 21, 722–730. https://doi.org/10.1111/ddi.12288

Tamburini, G., Bommarco, R., Wanger, T.C., Kremen, C., Heijden, M.G.A. van der, Liebman, M., Hallin, S., 2020. Agricultural diversification promotes multiple ecosystem services without compromising yield. Sci. Adv. 6, eaba1715. https://doi.org/10.1126/sciadv.aba1715

Thies, C., Roschewitz, I., Tscharntke, T., 2005. The landscape context of cereal aphid–parasitoid interactions. Proc. R. Soc. B Biol. Sci. 272, 203–210. https://doi.org/10.1098/rspb.2004.2902

Thies, C., Tscharntke, T., 1999. Landscape Structure and Biological Control in Agroecosystems. Science 285, 893–895. https://doi.org/10.1126/science.285.5429.893

Tscharntke, T., Brandl, R., 2004. Plant-insect interactions in fragmented landscapes. Annu. Rev. Entomol. 49, 405–430. https://doi.org/10.1146/annurev.ento.49.061802.123339

Tscharntke, T., Clough, Y., Wanger, T.C., Jackson, L., Motzke, I., Perfecto, I., Vandermeer, J., Whitbread, A., 2012a. Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. Biol. Conserv., ADVANCING ENVIRONMENTAL CONSERVATION: ESSAYS IN HONOR OF NAVJOT SODHI 151, 53–59. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.01.068

Tscharntke, T., Klein, A.M., Kruess, A., Steffan-Dewenter, I., Thies, C., 2005. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity – ecosystem service management. Ecol. Lett. 8, 857–874. https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00782.x

Tscharntke, T., Milder, J.C., Schroth, G., Clough, Y., DeClerck, F., Waldron, A., Rice, R., Ghazoul, J., 2015. Conserving biodiversity through certification of tropical agroforestry crops at local and landscape scales. Conserv. Lett. 8, 14–23. https://doi.org/10.1111/conl.12110

Tscharntke, T., Steffan-Dewenter, I., Kruess, A., Thies, C., 2002a. Contribution of Small Habitat Fragments to Conservation of Insect Communities of Grassland-Cropland Landscapes. Ecol. Appl. 12, 354–363. https://doi.org/10.2307/3060947

Tscharntke, T., Steffan-Dewenter, I., Kruess, A., Thies, C., 2002b. Characteristics of insect populations on habitat fragments: A mini review. Ecol. Res. 17, 229–239. https://doi.org/10.1046/j.1440-1703.2002.00482.x

Tscharntke, T., Tylianakis, J.M., Rand, T.A., Didham, R.K., Fahrig, L., Batáry, P., Bengtsson, J., Clough, Y., Crist, T.O., Dormann, C.F., Ewers, R.M., Fründ, J., Holt, R.D., Holzschuh, A., Klein, A.M., Kleijn, D., Kremen, C., Landis, D.A., Laurance, W., Lindenmayer, D., Scherber, C., Sodhi, N., Steffan-Dewenter, I., Thies, C., Putten, W.H. van der, Westphal, C., 2012b. Landscape moderation of biodiversity patterns and processes - eight hypotheses. Biol. Rev. 87, 661–685. https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2011.00216.x

Tschumi, M., Albrecht, M., Bärtschi, C., Collatz, J., Entling, M.H., Jacot, K., 2016. Perennial, species-rich wildflower strips enhance pest control and crop yield. Agric. Ecosyst. Environ. 220, 97–103. https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.001

Tschumi, M., Albrecht, M., Entling, M.H., Jacot, K., 2015. High effectiveness of tailored flower strips in reducing pests and crop plant damage. Proc. R. Soc. B Biol. Sci. 282, 20151369. https://doi.org/10.1098/rspb.2015.1369

Tylianakis, J.M., Klein, A.-M., Tscharntke, T., 2005. Spatiotemporal Variation in the Diversity of Hymenoptera across a Tropical Habitat Gradient. Ecology 86, 3296–3302.

Weibull, A.-C., Bengtsson, J., Nohlgren, E., 2000. Diversity of butterflies in the agricultural landscape: the role of farming system and landscape heterogeneity. Ecography 23, 743–750. https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2000.tb00317.x

Westphal, C., Steffan-Dewenter, I., Tscharntke, T., 2009. Mass flowering oilseed rape improves early colony growth but not sexual reproduction of bumblebees. J. Appl. Ecol. 46, 187–193. https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01580.x
Whittingham, M.J., 2011. The future of agri-environment schemes: biodiversity gains and ecosystem service delivery? J. Appl. Ecol. 48, 509–513. https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.01987.x
Zinke, O., 2020. EU: Kleine Bauernhöfe sind die Verlierer [WWW Document]. agrarheute. URL https://www.agrarheute.com/management/betriebsfuehrung/eu-kleine-bauernhoefe-verlierer-569924 (accessed 3.12.21).